

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 - Strojírenství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv teploty nástroje na tvářecí sílu při výrobě šroubů

The Influence of a Tool Temperature on Forming Power in Screw-bolt Production

Jiří Žďárský
KSP - TP - B61

Vedoucí bakalářské práce:
Konzultant bakalářské práce:

Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*
Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	40
Počet tabulek	7
Počet příloh	3
Počet obrázků	23
Počet.....	73

Datum: 5.6.2009



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Jiří Ž D Á R S K Ý

Studijní program

B2341 Strojírenství

Studijní obor

3911R018 Materiály a technologie

Zaměření

Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Vliv teploty nástroje na tvářecí sílu při výrobě šroubů

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení se s problematikou technologie výroby šroubů.
2. Získání podkladů pro analýzu aktuálních technologických podmínek při výrobě šroubů ve firmě Kamax, s. r. o..
3. Experimentální určení protahovací síly při tažení drátu průvlakem.
4. Experimentální určení vlivu teploty na velikost síly protahování drátu průvlakem
5. Vyhodnocení získaných poznatků.
6. Závěr.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Student: Jiří Žďárský

Téma práce: Vliv teploty nástroje na tvářecí sílu při výrobě šroubů

Číslo BP: KSP - TP - B61

Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je zhodnotit vliv teploty na velikost protahovací síly při tažení drátu průvlakem. Teoretická část bakalářské práce vysvětluje teorii pro technologii tažení drátů a tyčí a seznamuje nás s problematikou technologie výroby šroubů. První část experimentu se zabývala zjišťováním základních mechanických vlastností použitého materiálu pomocí statické zkoušky tahem. Druhá část experimentálního měření bakalářské práce je zaměřena na stanovení velikosti střední protahovací síly pomocí laboratorní zkoušky protahování drátu pomocí průvlaku.

Abstract:

The aim of this bachelor's work is to review the temperature effect on the size of a draw-through power while drawing the wire through the draw ring. Theoretic part of this bachelor's work explains the theory for wires and poles drawing technology and introduces us the questions about screw-bolt manufacturing technology. The first part of the experiment was engaged in detection of basic mechanical attributes of used material by static draw test. The second part of the experimental measurement in this bachelor's work is focused on setting the size of medium draw-through power by laboratory testing of putting wire through a draw ring.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. června 2009

.....
Jiří Žďárský
Hoříčky 109
552 05 Hoříčky

Poděkování:

Chtěl bych touto cestou poděkovat Ing. Pavlu DOUBKOVÍ, Ph.D., Ing. Pavlu SOLFRONKOVÍ, Ph.D., Ing. Michaelu KOLNEROVÉ, Ph.D. a ostatním pracovníkům katedry za odbornou pomoc, konzultace a za poskytnutí cenných informací, které mi pomohly při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

Seznam použitých zkratk a symbolů	7
1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 Technologie tažení drátů a tyčí	10
2.1.1 Základní dělení ocelových tažených drátů	10
2.2 Technologické postupy tažení	11
2.2.1 Tažení drátů	11
2.2.2 Tažení tyčové oceli	12
2.2.3 Tažení bezešvých trubek a profilů	12
2.2.4 Tažení profilů nepravidelných tvarů	13
2.3 Průvlaky pro tažení	14
2.3.1 Konstrukce průvlaku	15
2.3.2 Použité materiály při výrobě průvlaků	16
2.4 Stroje pro tažení	16
2.4.1 Drátotahy	17
2.4.2 Tažné stolice	18
2.5 Maziva použitá při tažení	20
2.5.1 Zadírání	20
2.6 Technologie povrchových úprav	20
2.6.1 Fosfátování	21
2.7 Základy tažení	21
2.7.1 Výpočet tažné síly	24
2.7.2 Vliv činitelů na velikost tažné síly	25
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
3.1 Laboratorní měření základních mechanických vlastností	28
3.1.1 Statická zkouška tahem	28
3.1.2 Vyhodnocení statické zkoušky tahem	29
3.2 Laboratorní měření tažení drátu skrz průvlak	30
3.2.1 Zkušební zařízení	30
3.2.2 Zkušební vzorky	32
3.2.3 Schéma použitého průvlaku	32
3.2.4 Postup a princip měření	33
3.2.5 Výsledky měření	33
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	36
5. ZÁVĚR	38
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39
7. SEZNAM PŘÍLOH	40

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení:	Jednotka:	Význam:
A	[J]	deformační práce
A_c	[J]	celková deformační práce při tažení
A_d	[J]	užitečná deformační práce
$A_{tř}$	[J]	práce potřebná k překonání vnějšího tření
A_{vn}	[J]	práce potřebná k překonání vnitřního tření
A_{80mm}	[%]	tažnost na délce 80 mm
Al	[-]	hliník
B	[-]	bór
C	[-]	uhlík
Cr	[-]	chrom
$CrNi$	[-]	chrom - nikl
Cu_{max}	[-]	měď
$\varnothing D_0$	[mm]	průměr drátu na vstupu
$\varnothing D_1$	[mm]	výsledný průměr drátu
$\varnothing d_0$	[mm]	počáteční průměr tažného kužele
$\varnothing d_1$	[mm]	koncový průměr tažného kužele
$\varnothing d_2$	[mm]	vnější průměr jádra průvlaku
$\varnothing d_3$	[mm]	vnější průměr objímky průvlaku
F_N	[N]	tlaková síla
$F_{Př}$	[N]	výsledná příčná síla
F_s	[N]	střední protahovací síla
F_T	[N]	tahová síla ve směru podélné osy
h_2	[mm]	výška jádra průvlaku
h_3	[mm]	výška objímky průvlaku
L	[mm]	délka tažného kužele
L_2	[mm]	délka drátu po tažení
l_2	[mm]	výška tažného kužele
l_3	[mm]	výška kalibračního válce
l_d	[mm]	délka dotyku taženého drátu s průvlakem
Mn	[-]	mangan

Označení:	Jednotka:	Význam:
P_{\max}	[-]	fosfor
R	[mm]	poloměr drátu na vstupu do průvlastu
r	[mm]	poloměr drátu na výstupu z průvlastu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
S_1	[m ²]	průřez drátu před vstupem do průvlastu
S_2	[m ²]	průřez drátu po výstupu z průvlastu
Si	[-]	křemík
S_{\max}	[-]	síra
V	[m ³]	deformovaný objem
v_1	[mm/min]	rychlost prvního tažného bubnu
v_2	[mm/min]	rychlost druhého tažného bubnu
v_3	[mm/min]	rychlost třetího tažného bubnu
x	[mm]	aritmetický průměr
α	[°]	úhel tažného kužele
β	[°]	úhel vstupního kužele
χ	[°]	úhel výstupního kužele
ε	[-]	plošný úběr
μ	[-]	součinitel tření na stykové ploše
ρ	[°]	třecí úhel
σ_1	[MPa]	tahové napětí v podélném směru (σ_1)
σ_2	[MPa]	radiální tlakové napětí (σ_r)
σ_3	[MPa]	tangenciální tlakové napětí (σ_{tan})
σ_{ds}	[MPa]	střední deformační odpor

1. ÚVOD

Tažení drátů pomocí průvlatu patří mezi často používané technologie, které jsou používány k přípravě polotovarů při výrobě šroubů. Výroba spojovacích součástí má v České republice dlouhodobou tradici a výrobky dosahují vysoké kvality. Ovšem v současné době musí český šroubářský průmysl bojovat s problémem, který představuje zahraniční konkurence. Nejen šrouby ale i ostatní spojovací součástky jsou značně využívány v automobilovém průmyslu, ve kterém se stále častěji uplatňují spojovací součásti atypických tvarů. Tuzemské šroubárny se proto rozhodly rozšířit výrobu o tyto produkty (šrouby s atypickými tvary hlav, čepy, nýty, atd.). Protože se hodně výrobců snaží hospodařit šetrně, tak se výroba atypických součástí provádí na stávajících strojích s nutností improvizace. Výrobci se proto snaží vylepšit výrobní podmínky na nynějších strojích.

Významný podíl na finální ceně šroubu tvoří náklady na polotovar. Jako polotovar pro výrobu šroubů se v současné době používá tažený ocelový drát, který je z důvodu snížení tření při následném lisování opatřen vrstvou fosfátu. Pro dosažení optimálních poměrů při lisování šroubů je tedy nutné zajistit minimální tření mezi nástrojem a zpracovaným materiálem. Na velikost tření má mimo jiné vliv především použité mazivo a teplota, na kterou se celý nástroj během lisování ohřeje.

Cílem bakalářské práce je zhodnotit vliv teploty na velikost protahovací síly při tažení drátu průvlatem. Jako výchozí materiál je použit materiál 23MnB4, který je běžně používán při výrobě šroubů. Ve vybraném průvlatu se drát protahuje při sedmi teplotách v rozsahu od 20°C do 260°C. Pro zajištění co nejrealističtějších podmínek jsou teploty nastaveny dle podkladů firmy KAMAX s.r.o. v Turnově, která je jedním z výrobců šroubářských součástí v České republice. Jako mazivo byl použit olej KFP 10, který je používán při lisování šroubů.

Konkrétním výstupem bakalářské práce bude stanovení optimální teploty protahování drátu průvlatem, při které bude dosaženo minimální protahovací síly.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Technologie tažení drátů a tyčí [1, 2]

Jedná se o technologii objemového tváření, při které dochází k protahování polotovaru otvorem průvlastku, jež má stanovené rozměry. Při této technologii se prodlužuje délka taženého materiálu, proto má-li být při tažení zachován objem, tak se musí zmenšovat příčný průřez. Změně z původního průřezu na vstupu S_1 na průřez na výstupu S_2 napomáhá radiální tlak, který vzniká v kuželové části průvlastku. Tažením lze dosáhnout kvalitnější jakosti povrchu, přesných rozměrů a lepších mechanických vlastností. Dráty je možno táhnout za sucha nebo za mokra s povrchovou úpravou nebo bez ní.

Dráty vyráběné touto technologií se ve velké míře používají k výrobě šroubů, dále lze tažené dráty využít u ocelových lan, do předpjatého betonu, k výrobě pletiv, ostnatých drátů, hřebíků, závlaček, sponek atd.

2.1.1 Základní dělení ocelových tažených drátů [1]

Dělení z výrobního hlediska:

- *Nepatentovaný* (nizkohlíkové oceli s obsahem C max. 0,2%)
 - 1) Tažením zpevněný:
 - Polotvrdý (pevnost 450 ÷ 600 MPa)
 - Tvrdý (pevnost 450 ÷ 1000 MPa)
 - Pružinově tvrdý (pevnost 1000 ÷ 1300 MPa)
 - 2) Žíhaný:
 - Na černo (zokujený povrch)
 - Na bílo, na modro (bez přístupu vzduchu)
 - Na lesklo (v ochranné atmosféře)
- *Patentovaný* (uhlíková ocel s obsahem C v rozmezí 0,2 ÷ 0,9%)
 - 1) Tažením zpevněný
 - 2) Po tažení žíhaný
 - 3) Po tažení zušlechtěný
 - 4) Po tažení napouštěný
- *Dráty z legovaných ocelí* (konstrukční, nástrojové, korozivzdorné)

2.2 Technologické postupy tažení [1, 2]

Tažení se řadí mezi nákladnější technologie, proto počet tahů musí být minimální. Před vlastním procesem tažení by měla předcházet dokonalá příprava taženého materiálu, tj. odstranění okují a nanesení vrstvy, která slouží jako nosič maziva.

2.2.1 Tažení drátů [1, 2]

- *Jednoduché tažení*

Využívá se na jednoprvlakových i víceprvlakových tažných stolicích k tažení legovaných a uhlíkových ocelí.

- *Tažení s protitahem*

Jedná se o jednoduché tažení doplněné o protitah, čímž dochází ke snížení měrné síly na prvek. Menší síla má za následek pokles teplot prvku i taženého materiálu, což vede ke zvýšení životnosti použitého prvku. Tento způsob tažení se zejména používá k tažení drátů malých průměrů a pro tažení velkými rychlostmi.

- *Stupňovité tažení*

Deformace je rozložena na více stupňů. Vyrůstá energie potřebná k tažení. Používá se k tažení rychlořezných a těžkovářitelných ocelí.

- *Tažení za tepla*

Je vhodné pro tažení drátů z ocelí s horší tvářitelností. Nevýhodou je, že musejí být použita speciální maziva, která jsou stálá i při vysokých teplotách.

- *Tažení za snížených teplot*

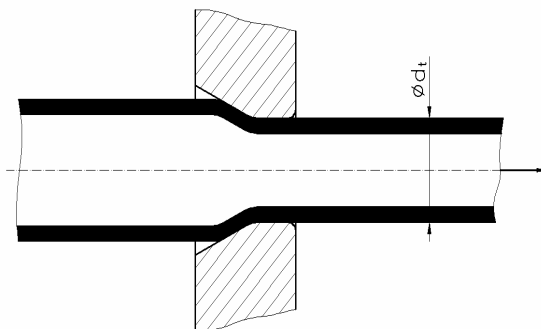
Umožňuje dosažení zvýšené pevnosti. Nevýhodami tohoto způsobu tažení jsou větší nároky na spotřebu energie a potřeba složitější konstrukce prvku.

2.2.2 Tažení tyčové oceli [2]

Jako výchozí polotovar se používá tyčová ocel válcovaná za tepla s kruhovým, šestihranným, čtvercovým nebo plochým průřezem. Po ukončení tažení a tepelného zpracování dochází k moření za účelem odstranění okují. Poté se tyče ještě rovnají na rovnacích strojích.

2.2.3 Tažení bezešvých trubek a profilů [2, 3]

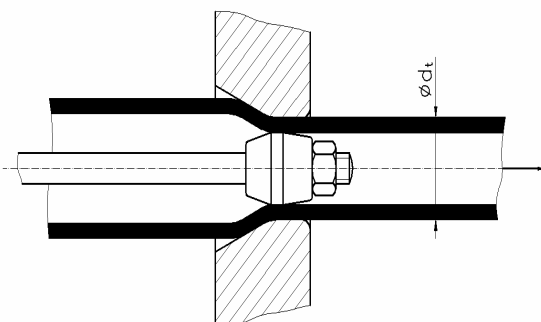
Používá se pro tažení trubek malých a středních rozměrů, dále trubek tlustostěnných i tenkostěnných. Výhodou tohoto technologického postupu tažení je splnění nároků na jakost povrchu (hladký a lesklý vnější i vnitřní povrch) a na rozměrovou přesnost. Polotovary musí mít upravený konec pro prostrčení průvlakem. Při tažení je vnější průměr trubky vždy vymezen průvlakem. Vymezení vnitřního průměru trubky se liší podle jednotlivých způsobů tažení, které jsou rozděleny do čtyř skupin:



Obr. 2.1 - Průvlečné tažení

▪ Průvlečné tažení

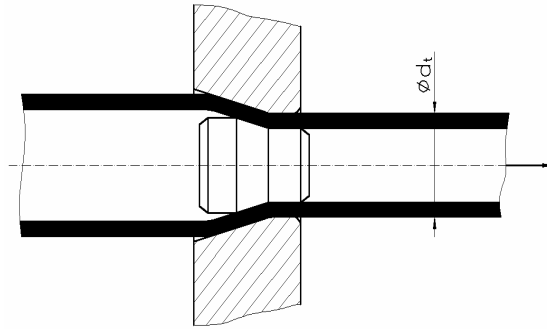
Tažnou sílu přenáší trubka, jejíž vnitřní průměr ani tloušťka stěny není vymezena žádným nástrojem (obr. 2.1).



Obr. 2.2 - Tažení na uchyceném trnu

▪ Tažení na uchyceném trnu

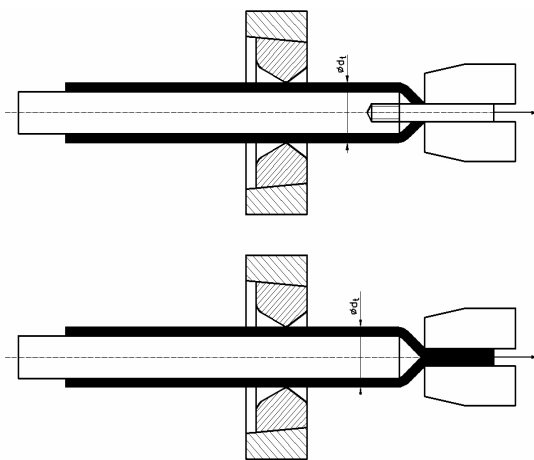
Tažnou sílu přenáší trubka. Vnitřní průměr trubky je v tomto případě vymezen díky uchycenému trnu (obr. 2.2).



Obr. 2.3 - Tažení na volném trnu

▪ *Tažení na volném trnu*

Tažnou sílu opět přenáší trubka. Volný trn, který vymezuje vnitřní průměr trubky, musí mít takovou kuželovitost, aby nedošlo k vytlačení trnu nebo k jeho vtažení dopředu (obr. 2.3).



Obr. 2.4 - Tažení na tyči

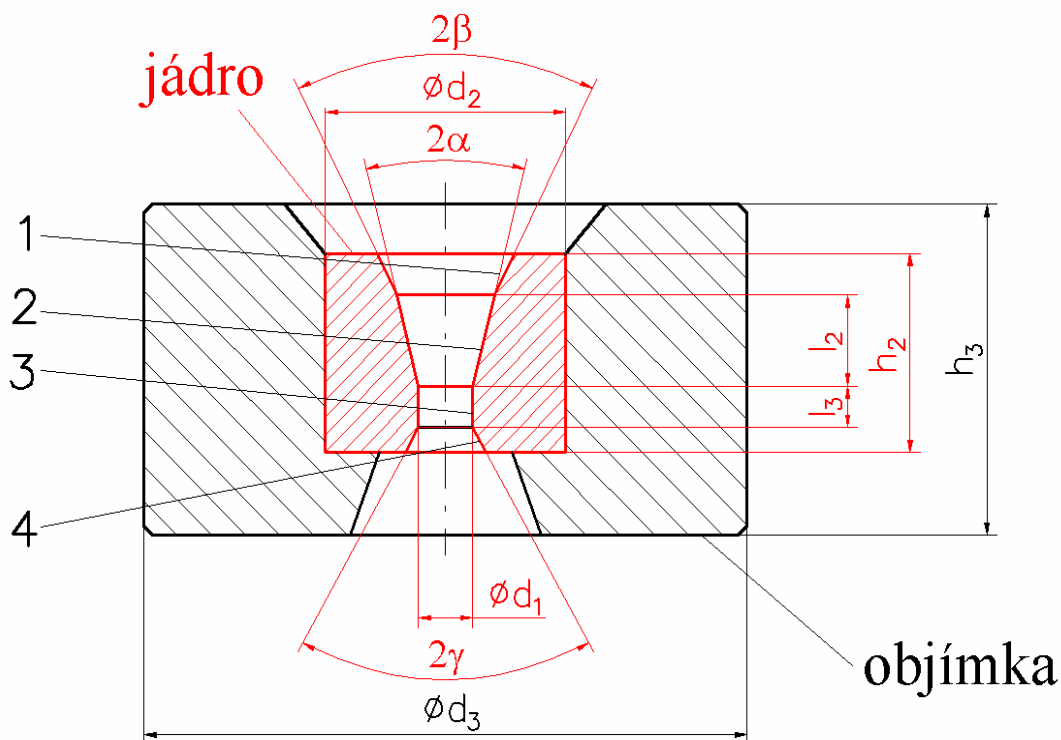
▪ *Tažení na tyči*

Tažnou sílu přenáší tyč. Následuje rozválcování aby šla tyč vytáhnout. Není zde přesnost rozměrů, pro malé průměry trubek se táhne na struně (obr. 2.4).

2.2.4 Tažení profilů nepravidelných tvarů [2]

Tažení se provádí pomocí vícedílných průvlaků, které jsou sestavené v upevňovacím rámu. Tažené profily jsou rozměrově přesnější, než profily válcované. Profily nepravidelných tvarů zhotovené tažením jsou určeny pro speciální strojírenskou výrobu (pro vložky zámků).

2.3 Průvlaky pro tažení [1, 4]



Obr. 2.5 - 2D schéma průvlaku ze slinutého karbidu

α úhel tažného (pracovního) kužele

β úhel vstupního (mazacího) kužele

γ úhel výstupního kužele

1..... vstupní (mazací) kužel

2..... tažný (pracovní) kužel

3..... kalibrační válec

4..... výstupní kužel

ϕd_1 ... průměr drátu na výstupu

ϕd_2 ... vnější průměr jádra průvlaku

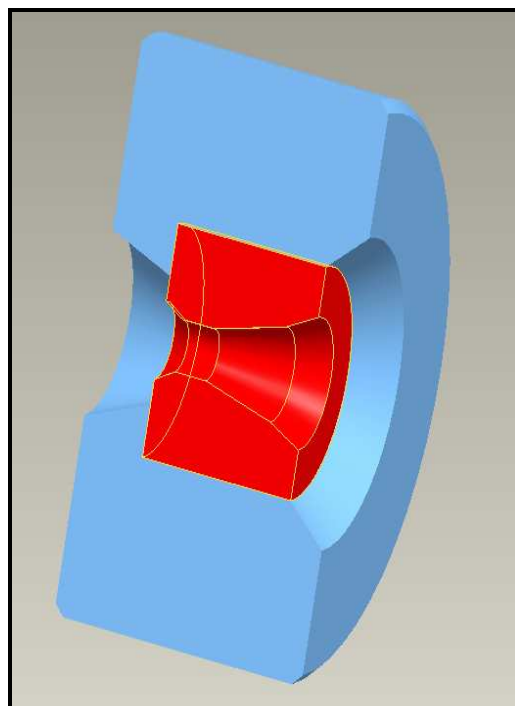
ϕd_3 ... vnější průměr objímky průvlaku

h_2 výška jádra průvlaku

h_3 výška objímky průvlaku

l_2 výška tažného kužele

l_3 výška kalibračního válce



Obr. 2.6 - 3D schéma průvlaku

2.3.1 Konstrukce průvlatku [1, 4]

- *Vstupní (mazací) kužel*

Hlavní funkcí vstupního kužele je přivádět do tažné části průvlatku dostatečné množství maziva. Úhel a výška vstupního kužele je závislá na druhu maziva. Příliš úzký a nízký kužel neplní své poslání a drát se pak táhne na sucho, trhá se a zadírá. Velikost úhlu mazacího kužele 2β se pohybuje v rozmezí od 45° až do 60° . Menší úhel otevření je vhodný spíše pro tuhá maziva, protože se v něm mazivo lépe zadrží a vtáhne do tažného kužele. U větších úhlů otevření se používají tekutá maziva.

- *Tažný (pracovní) kužel*

Po mazacím kuželu následuje kužel tažný, který je nejdůležitější částí průvlatku, protože deformuje polotovar na žádaný rozměr. Tažný úhel α závisí na druhu oceli a pohybuje se mezi 10° a 15° . U měkkých ocelí bývá úhel 14° , u tvrdých je menší a je roven 12° . Kromě úhlu je tažný kužel dále určen $\varnothing d_1$, což odpovídá jmenovitému průměru drátu po vytažení a výškou l_2 . Díky těmto hodnotám se pak dá snadno určit $\varnothing d_0$.

- *Kalibrační válec*

Hlavním úkolem válcové kalibrační části je zajištění taženému drátu přesný rozměr a hladký povrch. Tato část již teoreticky není potřebná k deformaci, ale v praxi je důležitá k vedení drátu a dosažení přesného rozměru. Výška kalibračního válce l_3 závisí na mazání, rozměru taženého drátu a také na druhu materiálu průvlatku.

- *Výstupní kužel*

Je to poslední část průvlatku, která má sloužit k odpružení deformovaného průřezu a výstupu bez pasivních odporů. Další funkcí této části je zamezení poškození průvlatku při přetržení drátu nebo porušení okrajů předešlého kalibračního válce. Úhel výstupního kužele 2γ se pohybuje mezi 60° a 100° . Velikost otevření opět závisí na materiálu taženého drátu, proto pro měkkou ocel je voleno 80° až 85° , pro tvrdou ocel je to 60° až 65° . Pro drát z mědi se používá úhel až 100° .

Uvedené rozměry jsou převážně vztaženy na průvlaky ze slinutých karbidů.

Pro karbidové a diamantové průvlaky pro velmi jemné tažení ocelových nebo wolframových drátů platí odlišné zásady. Odpadá u nich mazací kužel, protože tyto průvlaky bývají v mazací tekutině ponořeny. Další odlišností je, že výstupní kužel bývá nahrazen miskovitým vyhloubením.

2.3.2 Použité materiály při výrobě průvlaků [4, 5]

Podle materiálu jsou průvlaky rozděleny do třech kategorií:

- *Průvlaky z přírodního a syntetického diamantu*

Jsou vhodné zvláště pro tažení materiálů s vysokými nároky na kvalitu povrchu. Výhodou těchto průvlaků je možnost použití pro prakticky všechny druhy tažených materiálů. Dalšími kladnými vlastnostmi jsou vysoký výkon a stálost rozměru. Mezi negativa patří nevhodnost použití pro tažení elektrod. Průvlaky z přírodního diamantu se využívají pro tažení velmi jemných drátů z mědi a wolframu pro elektrotechniku.

- *Průvlaky z polykrystalů*

Průvlaky z polykrystalů jsou proti diamantovým vhodné na všechny druhy tažených materiálů. Podle zrnitosti vstupní suroviny se tyto průvlaky dělí na standardní typy s větší zrnitostí a na jemnozrné typy.

- *Průvlaky ze slinutých karbidů*

Ze slinutého karbidu se vyrábí pouze jádro průvlaku. Objímka, která chrání jádro, napomáhá chlazení a umožňuje lepší manipulaci, se vyrábí z oceli nebo mosazi. Používají se pro běžné aplikace tažení drátů.

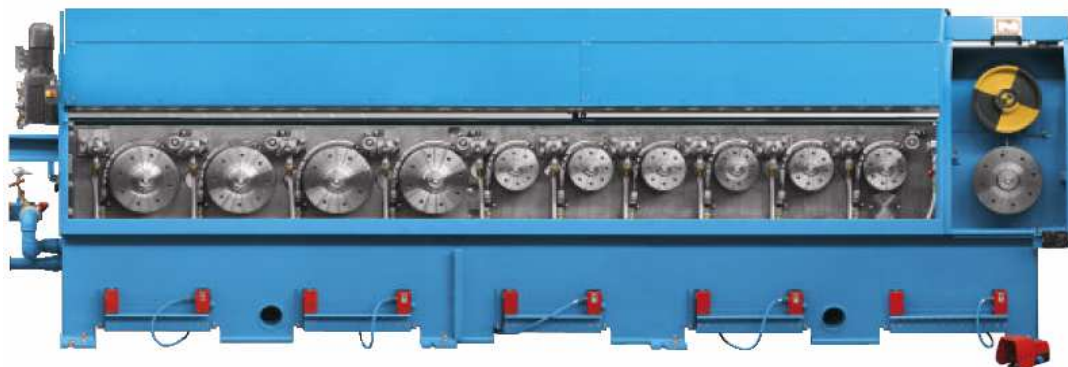
2.4 Stroje pro tažení [4]

Drát z kruhu do kruhu nebo do cívky se táhne na tažných strojích, které se nazývají drátotahy. Drát z kruhu do vyrovnaných tyčí na zařízeních zvaných tažné stolice. Pro vlastní výrobu taženého drátu jsou pouze stroje prvního typu, kdežto stroje druhé počítáme k zařízení pro výrobu tažené oceli tyčové.

2.4.1 Drátotahy [4, 6]

Drátotah M81

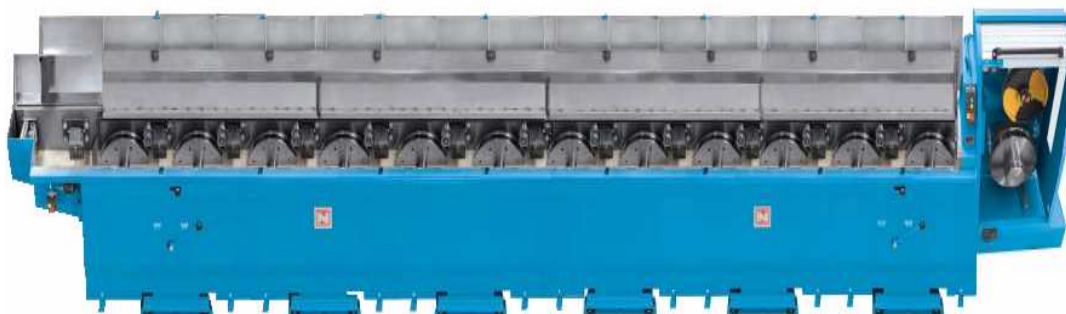
Jednosměrný drátotah pro hrubé tažení jednoho válcovaného drátu (obr. 2.7). Hromadná výroba s nízkými nároky na prostor. Ergonomický design stroje, uživatelsky nenáročný a snadná údržba. Průměr drátu na výstupu se pohybuje v rozmezí od 1 do 3,5 mm.



Obr. 2.7 - Jednosměrný drátotah M81

Drátotahy M85 a MM85

Drátotahy pro hrubé tažení jednoho (M85) viz. (obr. 2.8) nebo dvou (MM85) válcovaných drátů. Jsou to velmi efektivní a často využívané stroje pro tažení drátů. Používá se pro tažení měděných a hliníkových drátů. Rychlost tažení pro hliníkové slitiny je 25 m/s, pro měděné dráty kolem 38 m/s.



Obr. 2.8 - Drátotah M85

Drátotah MKN 101

Drátotah pro nejjemnější tažení drátu, na kterém lze dosáhnout výsledného průměru drátu až 0,02 mm. Vyrábí se v různých variantách, s jedním až třemi páry tažných kuželů. Slouží pro tažení drátů z mědi, CrNi ocelí, hliníkových slitin, vzácných kovů a jejich slitin.

Kromě těchto třech druhů drátotáhů vyrábí německá firma NIEHOFF také drátotahy řad MSM 85 a MMH.

2.4.2 Tažné stolice [1, 2]

Rozdělení tažných stolic:

- a) s přímočarým pohybem materiálu
- b) s navíjením taženého materiálu

Stolice s přímočarým pohybem

Tyto stolice se používají k tažení tyčí, trubek a tvarových výrobků omezených délek. Podle tažného elementu se tyto tažné stolice dělí na řetězové a hřebenové. Řetězové tažné stolice se používají častěji než hřebenové. Ovšem při vysokých rychlostech a změně zatížení není řetěz jako tažná jednotka příliš vhodný, proto se využívají hydraulické písty nebo tažná lana.

Tažná stolice má rám z ocelových nosníků, po němž se pohybuje tažný vozík. Tažný vozík obsahuje klešťové zařízení s tažnými čelistmi a unášecím hákem. Po zaklesnutí unášecího háku do řetězu sevřou čelisti hrot polotovaru a protahují jej skrz průvlak.

Stolice s navíjením taženého drátu

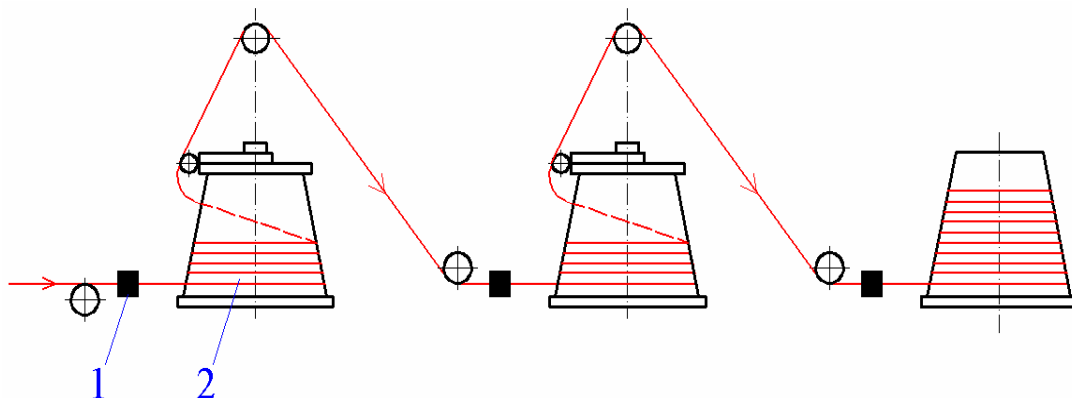
Základní rozdělení stolic s navíjením taženého drátu:

- Podle počtu tahů: - *jednotahové*
 - *vícetahové*

- Podle výrobního způsobu: - *bezskluzové*
 - *skluzové*

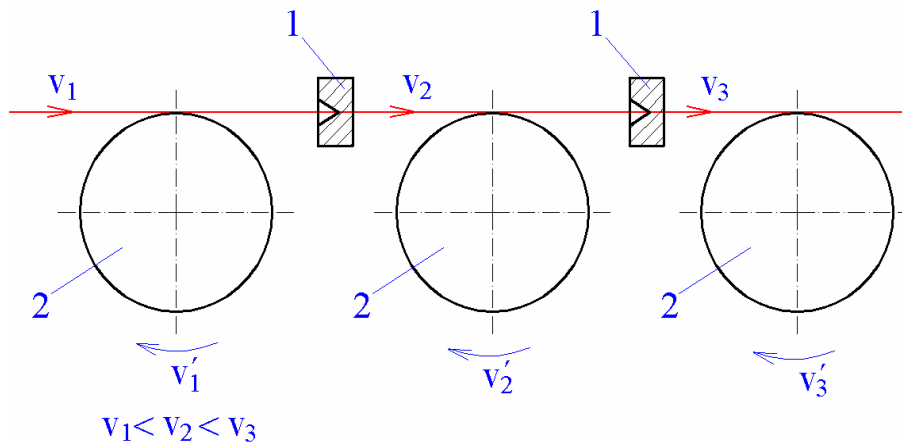
Bezskluzová tažná stolice (obr. 2.9) je charakteristická tím, že rychlost drátu vystupujícího z průvlatu je rovna rychlosti tažného bubnu. Na tažném bubnu je dostatek závitů taženého drátu, aby nedocházelo k jeho prokluzování. U vícenásobných bezskluzových tažných stolic je důležitá regulace rychlosti každého bubnu.

U skluzových tažných stolic (obr. 2.10) jsou rychlosti unášených kotoučů a taženého drátu rozdílné. Díky relativnímu skluzu taženého drátu a kotoučů dochází ke vzniku značného tepla. Vzniklé teplo musí být odvedeno chlazením, které je vyřešeno buď ponořením celého systému do oleje, nebo jsou chlazeny pouze průvlaty.



Obr. 2.9 - Schéma bezskluzové tažné stolice

- 1 - průvlak
- 2 - tažný bubnu



Obr. 2.10 - Schéma skluzové tažné stolice

- 1 - průvlak
- 2 - tažný bubnu
- v_1 - rychlost prvního tažného bubnu
- v_2 - rychlost druhého tažného bubnu
- v_3 - rychlost třetího tažného bubnu

2.5 Maziva použitá při tažení [4, 7]

Při průchodu drátu průvlakem dochází ke značnému tření, které je spojené se vznikem tepla. Proto musí být dbáno na dostatečné mazání, aby došlo ke snížení tření, aby se zabránilo zadírání drátu, poškozování průvlaku, a aby se zlepšil vzhled drátu. Mezi další funkce maziva patří odvod tepla, ochrana kovových ploch před korozí, schopnost rozpouštět usazeniny a nečistoty. Mazivo je při tažení prostředníkem mezi taženým drátem a průvlakem. Mazivo musí mírnit tření, ale musí také lnout k povrchu a mít takovou soudržnost, aby nebylo tlakem vytlačeno. Díky mazivu je na povrchu drátu vytvořen souvislý povlak (film).

Velmi důležitá je správná volba maziva, neboť na ní závisí vzhled povrchu drátu, usnadňuje se tažení a šetří se průvlak. Správné mazivo musí být vybráno podle toho, zda je drát určen k dalšímu tažení, k pozinkování, nebo k žíhání atd. Pro volbu maziva je také důležité chemické složení a tvar taženého drátu (kruhový nebo čtyřhranný průřez).

2.5.1 Zadírání [7]

Při zadírání dochází ke svařování povrchu třecích ploch, protože mazaný povrch je obnažován vlivem velkého zatížení třecích ploch. Charakter zadírání je závislý na použitém mazivu a na vzájemné rozpustnosti dvojice třecích kovů. Nejlépe se chovají kovy navzájem vůbec nerozpustné, nebo kovy, které mezi sebou tvoří křehké intermetalické fáze o malé smykové pevnosti.

2.6 Technologie povrchových úprav [8]

Rozhodující faktor, který ovlivňuje výběr technologie povrchové úpravy, je požadavek na životnost výrobku včetně jeho povrchové úpravy. Technologie povrchových úprav kovů a slitin lze rozdělit do dvou základních skupin:

- *vytváření organických povlaků* (jedná se o nanášení tekutých a práškových nátěrových hmot na všechny typy podkladových materiálů)
- *vytváření anorganických povlaků* (je to tvorba kovových povlaků tepelnými, chemickými nebo elektrolytickými procesy, případně vytváření povlaků anorganických smaltů, převážně na kovových podkladových materiálech)

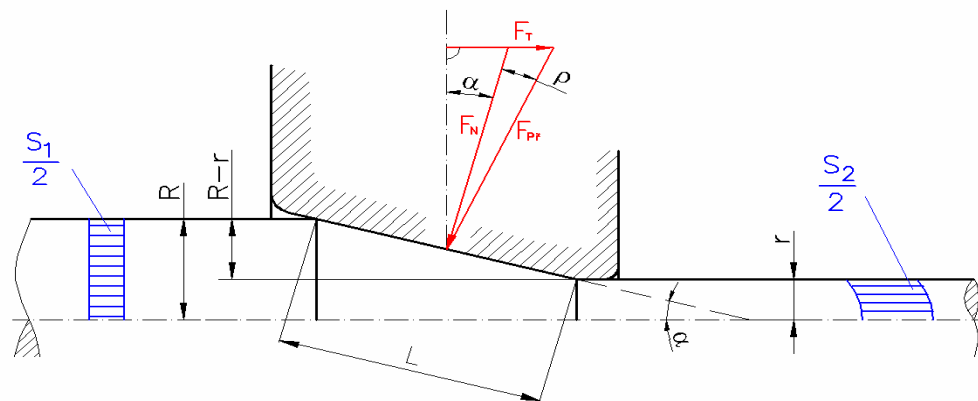
Mezi povrchové úpravy drátů používaných k výrobě šroubů lze řadit černění, zinkování, chromátování, žárový zinek, fosfátování, atd.

2.6.1 Fosfátování [1, 4]

Je to povrchová úprava polotovaru před tažením, která se provádí, aby došlo ke snížení ztrát třením. Tím se tažná síla lépe využije k deformaci drátu, dojde ke zlepšení povrchu a drát snese více tahů než drát nefosfátovaný. Touto povrchovou úpravou se tedy usnadňuje proces tažení, což má pozitivní vliv na životnost průvlaku. Fosfátování je také známo tím, že zvyšuje antikorozi vlastnosti. Proces fosfátování spočívá v ponořování drátu v kruzích do horkého roztoku kyselého fosforečnanu zinečnatého po dobu 8 až 15 minut. Během této doby se na povrchu vytváří tenká vrstvička fosforečnanu jako šedý a jemně krystalický povlak. Povrch drátu je hladký a zdá se, že drát je pokryt tenkou glazurou.

2.7 Základy tažení [1, 4]

Při průchodu taženého materiálu průvlakem působí v pásmu deformace síly tahové a tlakové, které mění rozměry taženého materiálu a síly třecí, které působí proti směru pohybu (tažení), způsobují ohřev průvlaku a taženého materiálu a zvyšují spotřebu energie. Rozložení sil při tažení, velikosti úhlů a další rozměry jsou patrné na obrázku 2.11.



Obr. 2.11 - Síly působící při tažení

- F_T - tahová síla ve směru podélné osy
- F_N - tlaková síla vzniklá reakcí mezi stěnou průvlaku a taženým materiálem
- F_{PF} - výsledná příčná síla
- α - úhel tažného kužele
- ρ - třecí úhel
- R - poloměr taženého drátu na vstupu do průvlaku
- r - poloměr taženého drátu na výstupu z průvlaku
- L - délka tažného kužele
- S_1 - průřez drátu před vstupem do průvlaku
- S_2 - průřez drátu po výstupu z průvlaku

Ze schématu je dále patrné, že výsledná příčná síla (F_{Pr}) nepůsobí kolmo na stěnu průvlaku, jako síla tlaková (F_N), ale je ještě skloněna o třecí úhel (ρ) proti směru tažení. To má za následek tření, které působí proti směru tažení.

$$F_T = F_{Pr} \cdot \sin(\alpha + \rho) \quad (1)$$

Nejčastěji používané úhly α se pohybují v rozmezí 5 až 10°. Při dobrém mazání odpovídá třecí úhel přibližně 3°, z toho vyplývá, že součet úhlu vrcholu tažného kuželu a třecího úhlu ($\alpha + \rho$) je v rozmezí 8 až 13°.

Při tažení drátu kruhového průřezu vzniká v pásmu deformace osově symetrický nerovnoměrný stav prostorové napjatosti s hlavním tahovým napětím a dvěma tlakovými napětími (+--).

Hlavní napětí σ_1 klesá od maximální hodnoty v rovině výstupu až k nule ve vstupní rovině.

$$\sigma_1 = \frac{F_T}{S_2}, \text{ kde } S_2 \text{ je rovina výstupu z průvlaku} \quad (2)$$

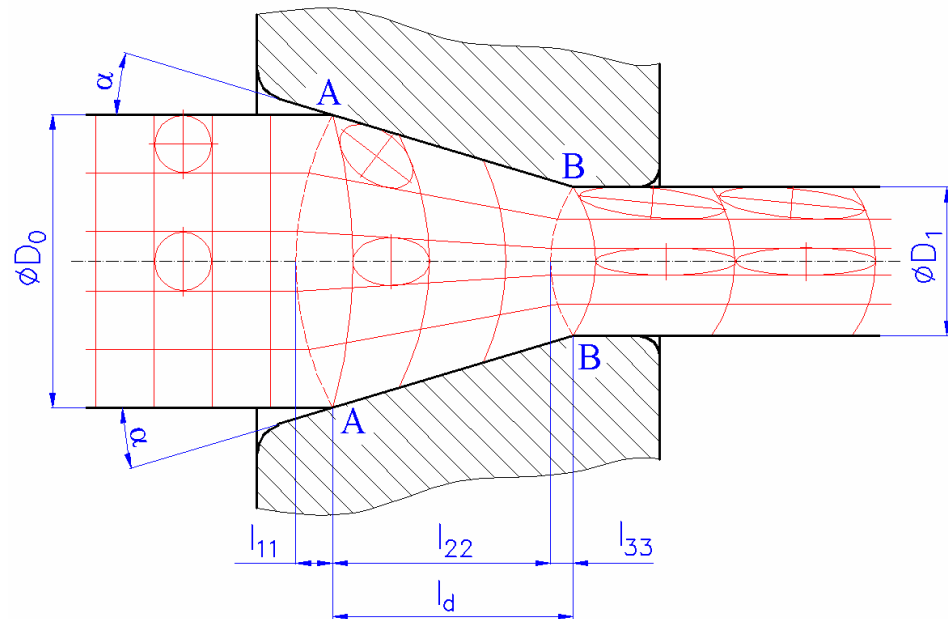
Hlavní napětí jsou: σ_1 - tahové v podélném směru (σ_1)

σ_2 - tlakové radiální (σ_r)

σ_3 - tlakové tangenciální (σ_{tan})

Pro ně platí: $\sigma_1 - \sigma_2 \geq \sigma_{ps}$, $\sigma_1 - \sigma_3 \geq \sigma_{ps}$, $\sigma_2 = \sigma_3$

Průběh deformace taženého drátu lze sledovat z průběhu deformace pravoúhlé sítě. Z obrázku (obr. 2.12) plyne, že čtverec narýsovaný v ose tyče se při průchodu průvlakem změní na obdélník a vepsaná kružnice se protáhne v elipsu, jejíž delší osa je totožná s osou tažení. Ostatní čtverce přecházejí na kosodélníky a vepsané kružnice na elipsy, kde ovšem jejich delší osa je natočená k ose tažení. Tento úhel natočení se zvětšuje s rostoucí vzdáleností od osy tažení. Díky těmto skutečnostem je zřejmé, že deformace probíhá nerovnoměrně, proto dochází ke změnám mechanických vlastností, zejména tvrdosti, pevnosti a meze kluzu.



Obr. 2.12 - Tok materiálu v pásmu deformace průvlatku

- l_d - délka dotyku taženého drátu s průvlatkem v tažném kuželu
- α - úhel tažného kužele
- $\varnothing D_0$ - průměr drátu na vstupu
- $\varnothing D_1$ - výsledný průměr drátu

Velikost podélných a radiálních napětí se mění po délce i výšce pásma deformace.

Ve výšce jsou tlaková radiální napětí největší v místě dotyku taženého materiálu s průvlatkem. Zato nejmenší jsou v ose tyče. Po délce jsou tyto radiální napětí největší na začátku pásma deformace. K rovině výstupu se napětí zmenšují.

Podélná tahová napětí se zvětšují směrem k výstupní rovině.

2.7.1 Výpočet tažné síly [1]

Výpočet tažné síly dle E. Siebela:

Ve výchozím vzorci je tažná síla vyjádřena jako podíl deformační práce a délky drátu po tažení.

$$F_T = \frac{A}{L_2} \quad (3)$$

F_T - tažná síla [N]

A - deformační práce [J]

L_2 - délka drátu po tažení [m]

Podle E. Siebela byla celková deformační práce rozdělena do tří složek a definována jejich součtem.

$$A_c = A_d + A_{\text{tř}} + A_{\text{vn}} \quad (4)$$

A_c - celková deformační práce při tažení [J]

A_d - užitečná deformační práce [J]

$A_{\text{tř}}$ - práce potřebná k překonání vnějšího tření [J]

A_{vn} - práce potřebná k překonání vnitřního tření [J]

Vzorce pro výpočet jednotlivých složek deformační práce:

$$\begin{aligned} A_d &= V \cdot \sigma_{\text{ds}} \cdot \ln \frac{S_1}{S_2} \\ A_{\text{tř}} &= V \cdot \sigma_{\text{ds}} \cdot \frac{\mu}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \ln \frac{S_1}{S_2} \\ A_{\text{vn}} &= \frac{2}{3} \cdot A_d \cdot \frac{\alpha}{\ln \frac{S_1}{S_2}} = \frac{2}{3} \cdot V \cdot \sigma_{\text{ds}} \cdot \alpha \end{aligned} \quad (5), (6), (7)$$

Po dosazení vzejde konečná rovnice pro výpočet tažné síly:

$$F_T = \sigma_{ds} \cdot V \cdot \ln \frac{S_1}{S_2} \left(1 + \frac{\mu}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{2\alpha}{3 \ln \frac{S_1}{S_2}} \right) / L_2 \quad (8)$$

S_1 - příčný průřez před vstupem do průvlaku [m²]

S_2 - příčný průřez po výstupu z průvlaku [m²]

V - deformovaný objem [m³]

σ_{ds} - střední deformační odpor [MPa]

μ - součinitel tření na stykové ploše

α - tažný úhel průvlaku

2.7.2 Vliv činitelů na velikost tažné síly [1]

Správně volená tažná síla umožňuje optimální využití tažných stolic vyloučením nebezpečí porušení celistvosti taženého materiálu.

Přehled činitelů mající vliv na tažnou sílu:

- *Mechanické vlastnosti taženého materiálu*

Záleží na chemickém složení použitého materiálu, struktuře a stavu předchozího zpevnění.

- *Plošný úběr*

Platí přímá úměrnost, se zvětšujícím se plošným úběrem se zvětšuje tažná síla.

- *Tvar výrobku*

Se zvětšujícím se obvodem při stejném průřezu roste hodnota tažné síly. U tažení drátů kruhových průřezů je tažná síla nejmenší.

- *Mazání*

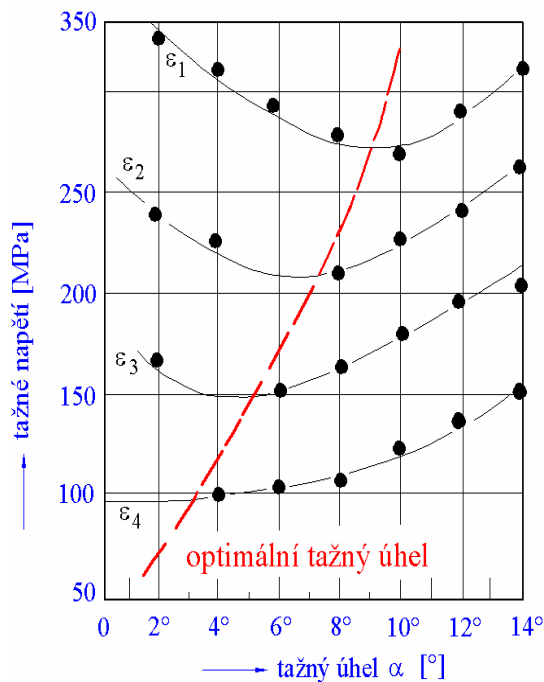
Součinitel tření je tím menší, čím je materiál průvlaku tvrdší. Při tažení skrz diamantové průvlaky se tažná síla sníží až o 20% v porovnání s průvlaky ze slinutých karbidů. Součinitel tření lze také snížit použitím vhodného mazání.

▪ *Rychlost tažení*

Má vliv na zvýšení teploty taženého materiálu a způsob mazání. V oblasti malých rychlostí tažení zvýšení tažných rychlostí poněkud zvyšuje tažné síly, při vysokých tažných rychlostech platí obrácená závislost.

▪ *Tvar průvlaku*

Při větší hodnotě tažného úhlu dochází ke zvýšení rychlosti deformace a ke ztížení mazání. Naopak zmenšením tažného úhlu se zvětšuje účinek třecích sil, ale zlepšují se podmínky mazání. Velikost optimálních úhlů, při nichž je tažná síla minimální, závisí hlavně na velikosti úběru, což je doloženo následujícím obrázkem.



úběry: $\epsilon_1 = 0,275$

$\epsilon_2 = 0,215$

$\epsilon_3 = 0,140$

$\epsilon_4 = 0,080$

ocel: 11 370

$d_0 = 5,75$ mm

rychlost tažení je $0,56 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Úběr [%]	Optimální tažný úhel [°]
10 ÷ 30	4 ÷ 8
30 ÷ 40	8 ÷ 10

**Obr. 2.13 - Závislost tažného napětí
na velikosti úběru a tažném úhlu**

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Úkolem této bakalářské práce bylo provedení experimentálního měření pomocí laboratorní zkoušky protahování drátu skrz průvlak s vrcholovým úhlem tažného kužele 28° za použití maziva KFP 10, při sedmi různých teplotách. Schéma použitého průvlaku je znázorněno na obr. 3.5 [9]. Z výsledků, které byly při laboratorním měření zjištěny, lze zjistit vliv teploty na velikost protahovací síly při tažení drátu průvlakem. Jako zkušební materiál je použita šroubářenská nízkouhlíková ocel 23MnB4. Drát byl dodán ve svitku o průměru 7,80 mm. Zkušební vzorky jsou z drátu, který byl tažen za studena a jeho povrch upraven fosfátováním. Z tabulky (tab. 3.1) vyplývá, že vlastnosti a chemické složení použité šroubářenské nízkouhlíkové oceli jsou vhodné pro výrobu šroubů. Hodnota průměru drátu 7,80 mm byla spočítána jako aritmetický průměr z osmi naměřených hodnot (tab. 3.2). Díky známým průměrům drátu na vstupu do průvlaku a na výstupu z průvlaku byl spočítán výsledek poměrného zúžení taženého drátu (tab. 3.3).

Při tomto experimentálním měření byl použit pouze jeden průvlak, při stejné rychlosti protahování, za použití jednoho druhu maziva. Jedinou proměnnou hodnotou byla teplota.

Tab. 3.1 - Chemické složení oceli 23MnB4

C	Mn	Si	P_{\max}	S_{\max}	Cu_{\max}	Cr	B	Al
0,21 0,25	0,8 1	0,1	0,015	0,015	0,25	0,25 0,35	0,0015 0,0060	0,020 0,050

Tab. 3.2 - Průměr drátu

číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x}
naměřené hodnoty [mm]	7,81	7,80	7,81	7,79	7,78	7,81	7,80	7,80	7,80

Tab. 3.3 - Výsledek poměrného zúžení

Počáteční průřez [mm ²]	Koncový průřez [mm ²]	Poměrné zúžení [%]
47,78	34,94	26,9

Experimentální část bakalářské práce je složena z měření:

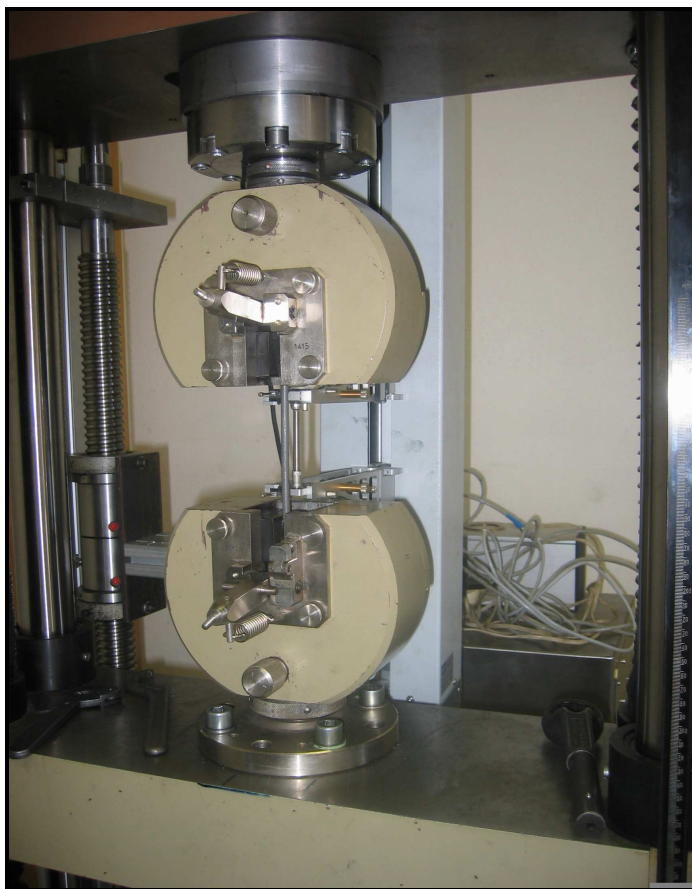
1. základních mechanických vlastností materiálu 23MnB4 (R_m , $R_{p0,2}$, A_{80mm})
2. síly potřebné k protažení drátu průvlakem při sedmi různých teplotách za konstantní rychlosti protahování

3.1 Laboratorní měření základních mechanických vlastností materiálu

Při zkoušce byly měřeny základní mechanické vlastnosti použitého materiálu 23MnB4, díky kterým lze zjistit použitelnost tohoto materiálu ve strojírenské výrobě.

3.1.1 Statická zkouška tahem

Ke zjištění základních mechanických vlastností materiálu bylo, stejně jako v případě měření tažných sil potřebných k protažení vzorku průvlakem, využito laboratorního zařízení TIRATEST 2300 a měřicího softwaru LABNET (obr. 3.1). Zkoušené vzorky byly nastříhány z dodaného materiálu a dle normy (ČSN EN 10 002-1) byla vykonána statická zkouška tahem. Po ukončení zkoušky byla vyhodnocena mez pevnosti R_m , mez kluzu $R_{p0,2}$ a tažnost A_{80mm} .



Obr. 3.1 - Statická zkouška tahem

3.1.2 Vyhodnocení statické zkoušky tahem

Z výstupního protokolu ze statické zkoušky tahem, který je uveden v příloze (1), byly do tab. 3.4 zaznamenány střední aritmetické průměry měřených veličin společně s výběrovými středními odchylkami měření.

Tab. 3.4 - Výsledky ze statické zkoušky tahem pro materiál 23MnB4

Měřená veličina	Označení a jednotky	Hodnota	Směrodatná odchylka
Mez pevnosti	R_m [MPa]	477,2	3,0
Mez kluzu	$R_{p0,2}$ [Mpa]	442,1	12,0
Tažnost	A_{80mm} [%]	23,78	0,53

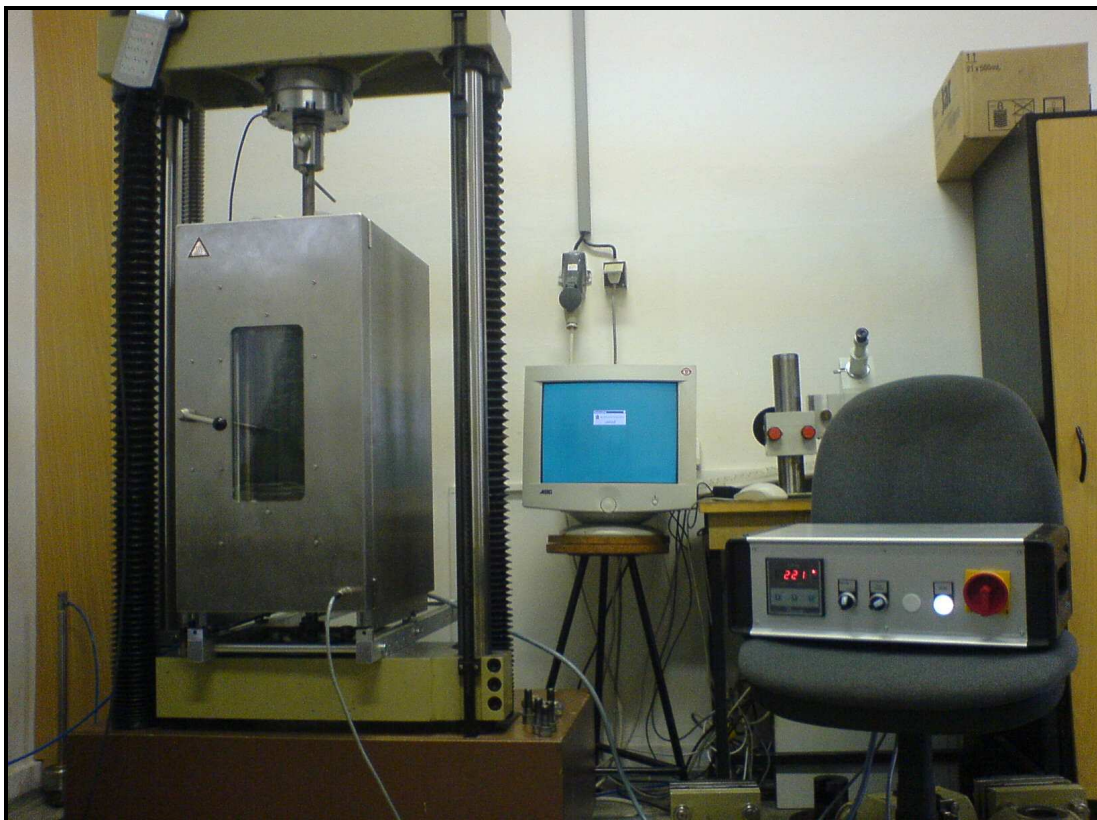
Podle výstupu ze statické zkoušky tahem bylo zjištěno, že u použitého materiálu 23MnB4 při rychlosti zatěžování 10 mm/min je průměrná hodnota tažnosti větší než 23%, což značí dobrou tažnost materiálu. Poměr mezi mezí kluzu a mezí pevnosti se pohybuje kolem hodnoty 0,92.

3.2 Laboratorní měření tažení drátu skrz průvlak

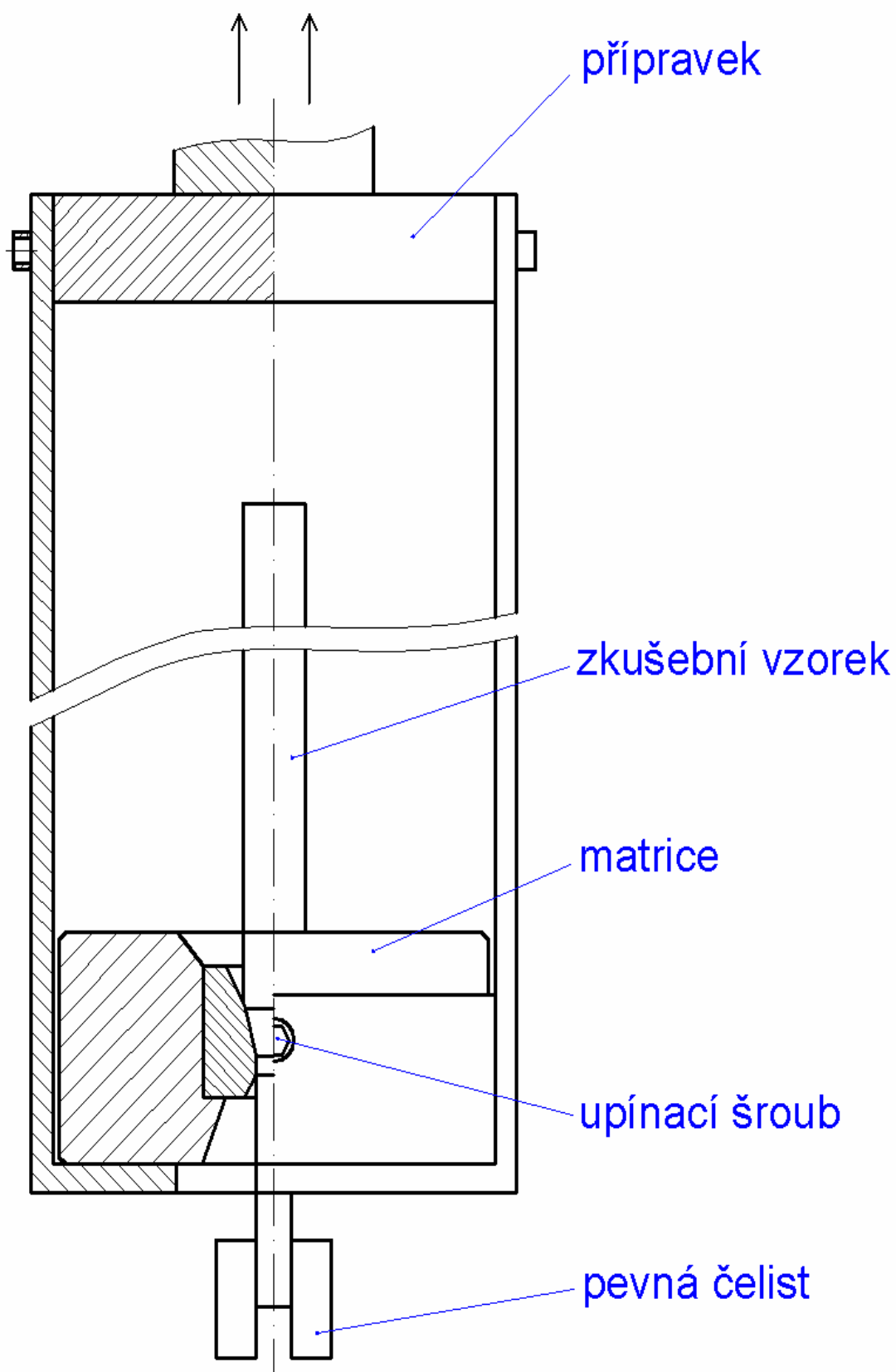
Při měření byla zjišťována tažná síla potřebná k protažení zkušebního vzorku průvlakem při použití maziva KFP 10 (výrobce Bechem), za působení sedmi různých teplot a při konstantní rychlosti. Výstupní protokoly z měření pro jednotlivé teploty jsou uvedeny v příloze (2). Technický list oleje KFP 10 je uveden v příloze (3).

3.2.1 Zkušební zařízení

Měření tažné síly bylo realizováno na zkušebním laboratorním zařízení TIRATEST 2300 (obr. 3.2), které bylo doplněno o tepelnou komoru TH 2700 (výrobce Trümler GmbH) pro dosažení potřebné teploty. Při měření byl dále použit upínací přípravek, do kterého byl ustaven použitý průvlak (obr. 3.3).
[9]



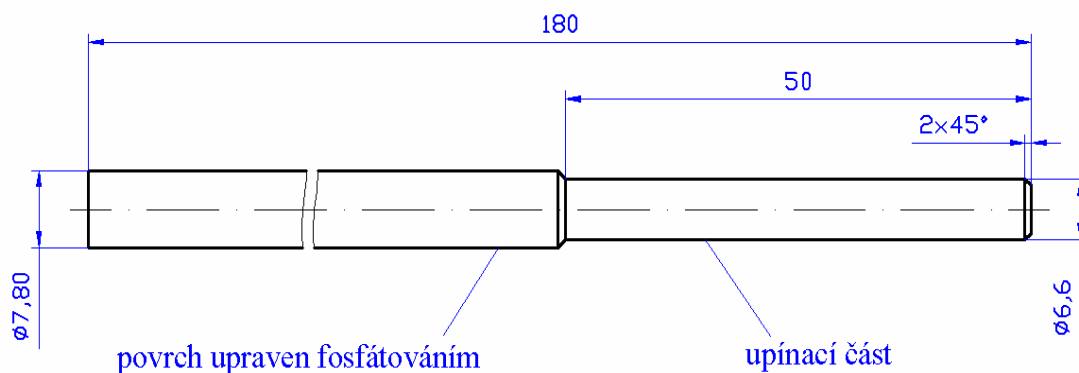
Obr. 3.2 - Zkušební zařízení TIRATEST 2300 doplněné o tepelnou komoru



Obr. 3.3 - Schéma upínacího přípravku s ustaveným průvlakem

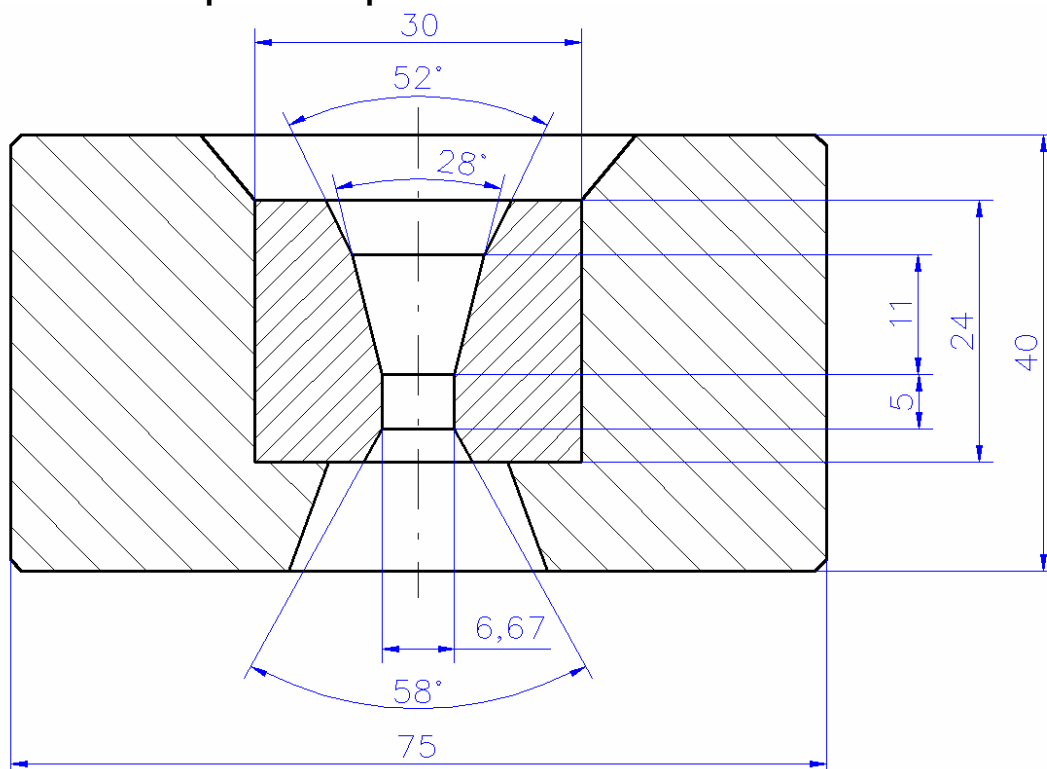
3.2.2 Zkušební vzorky

Zkušební vzorky byly z dodaného drátu nastříhány na pákových nůžkách na délku 180 mm. Kvůli prostrčení skrz průvlak a upnutí do čelistí stroje byly zkušební vzorky na jedné straně zbroušeny na průměr 6,6 mm do vzdálenosti 50 mm. Použité mazivo KFP 10 bylo rovnoměrně nanášeno po celé ploše zkušební vzorku bavlněnou tkaninou. Zkušební vzorek s rozměry je zobrazen na obr. 3.4.



Obr. 3.4 - Zkušební vzorek

3.2.3 Schéma použitého průvlaku



Obr. 3.5 - Schéma použitého průvlaku s tažným úhlem 28°

3.2.4 Postup a princip měření

Nejdříve bylo nutno upnout přípravek do zkušebního laboratorního zařízení a pomocí softwaru LABNET nastavit podmínky měření. Poté byla na vzorek nanесena rovnoměrná vrstva maziva. Takto připravený zkušební vzorek byl prostrčen průvlakem a upnut do čelistí stroje. Při měření byla použita tenzometrická měřící hlava s rozsahem 100 kN. Jako první teplota byla nastavena teplota okolního prostředí, tedy 20°C. Nyní bylo možno spustit vlastní zkoušku tažení drátu. Po ukončení zkoušky byl tažený drát vyjmut z průvlaku. Pro tuto teplotu byl postup opakován ještě 2x. Na každou z použitých teplot byly tedy použity 3 zkušební vzorky. Mezi jednotlivými teplotami bylo nutno vyčkat přibližně 15 minut, než byla v tepelné komoře ustálena teplota a teplota průvlaku dosáhla nastavené hodnoty. Pro dané podmínky tváření (rychlost a délka protahování) byla zaznamenávána hodnota střední protahovací síly. Rychlost tažení byla nastavena na hodnotu 20 mm/min. V tabulce 3.5 jsou zobrazeny hodnoty použitých teplot.

Tab. 3.5 - Použité teploty při měření

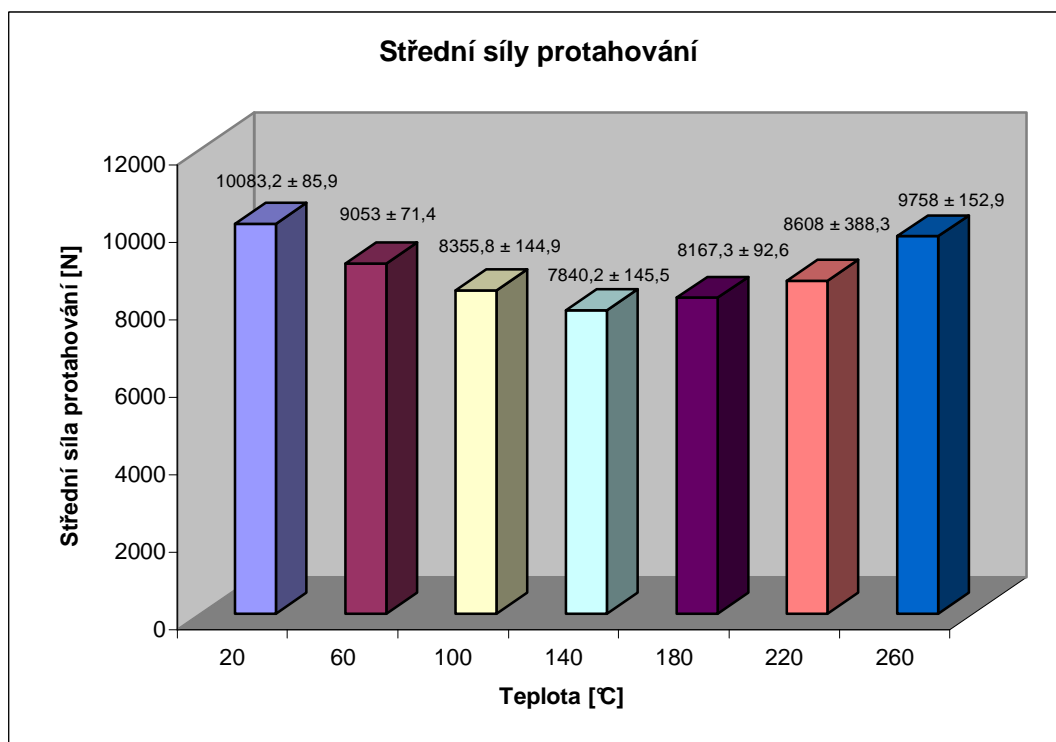
pořadí teplot	1	2	3	4	5	6	7
použité teploty [°C]	20	60	100	140	180	220	260

3.2.5 Výsledky měření

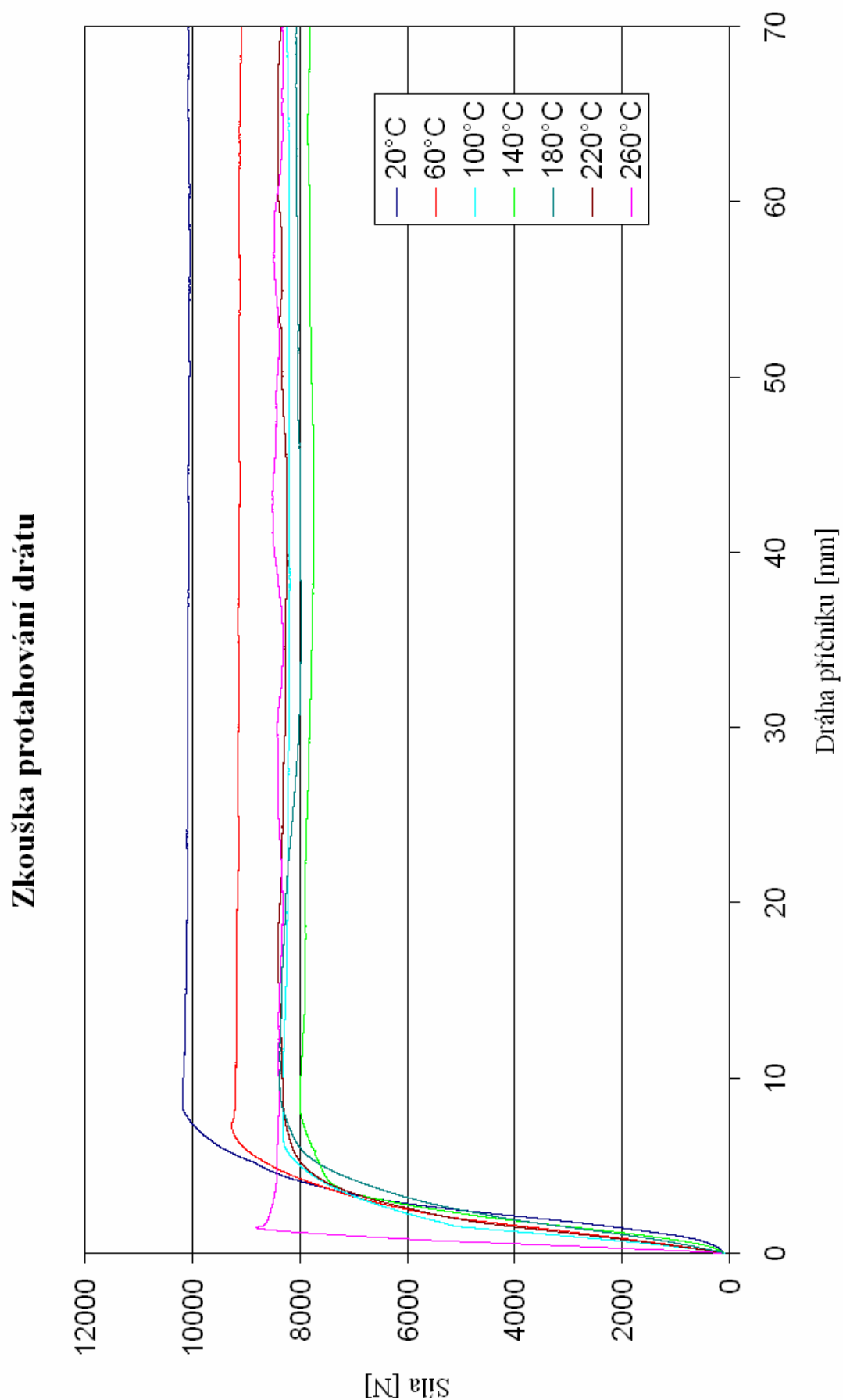
Díky použitému softwaru LABNET byly zjištěny průběhy jednotlivých měření. Pro každou teplotu byla odečtena střední síla protahování a zapsána do tabulky (tab. 3.6). Pro znázornění a snadné porovnání jednotlivých středních sil protahování jsou hodnoty vyneseny do grafu (obr. 3.6). Pro lepší přehlednost grafu bylo použito sloupcové znázornění. Z obr. 3.6 je zřejmé že od teplot 140°C dochází ke zvyšování protahovací síly. To je pravděpodobně způsobeno zvyšováním deformačního odporu materiálu vlivem teplot blížících se oblasti tzv. modrého žáru. Na grafu (obr. 3.7) jsou znázorněny průběhy jednotlivých měření. Velikost střední síly protahování byla určována jako průměrná hodnota ze zaznamenaných hodnot. Rozsah pro stanovení střední síly byl brán od 10 do 70 mm dráhy příčniku (obr. 4.3).

Tab. 3.6 - Střední síly protahování při použitých teplotách

Teplota [°C]	Střední síla protahování [N]
20	$10083,2 \pm 85,9$
60	$9053 \pm 71,4$
100	$8355,8 \pm 144,9$
140	$7840,2 \pm 145,5$
180	$8167,3 \pm 92,6$
220	$8608 \pm 388,3$
260	$9758 \pm 152,9$



Obr. 3.6 - Graf středních sil při použitých teplotách



Obr. 3.7 - Průběhy zkoušek protahování drátu při použitých teplotách

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Při laboratorní zkoušce protahování drátu průvlakem bylo zjištěno, že pro daný materiál a pro dané podmínky měření (použité mazivo, jeden použitý průvlak a jedna konstantní rychlost protahování) bylo nejlepších výsledků (nejmenší střední protahovací síla) dosaženo při teplotě 140°C. Největší střední síla protahování byla zjištěna při teplotě okolí, tedy při teplotě 20°C.

Jednotlivé střední síly protahování jsou zobrazeny v následující tabulce (tab. 4.1). Tabulka je řazena vzestupně podle teplot. Vedle teplot jsou v tabulce znázorněny i střední síly, takže je zajištěn přehled, která z teplot je nejvýhodnější. Posledním údajem, který byl uveden v tabulce, je o kolik procent se liší ostatní protahovací síly od síly nejmenší.

Tab. 4.1 - Střední síly protahování s procentuálním rozdílem

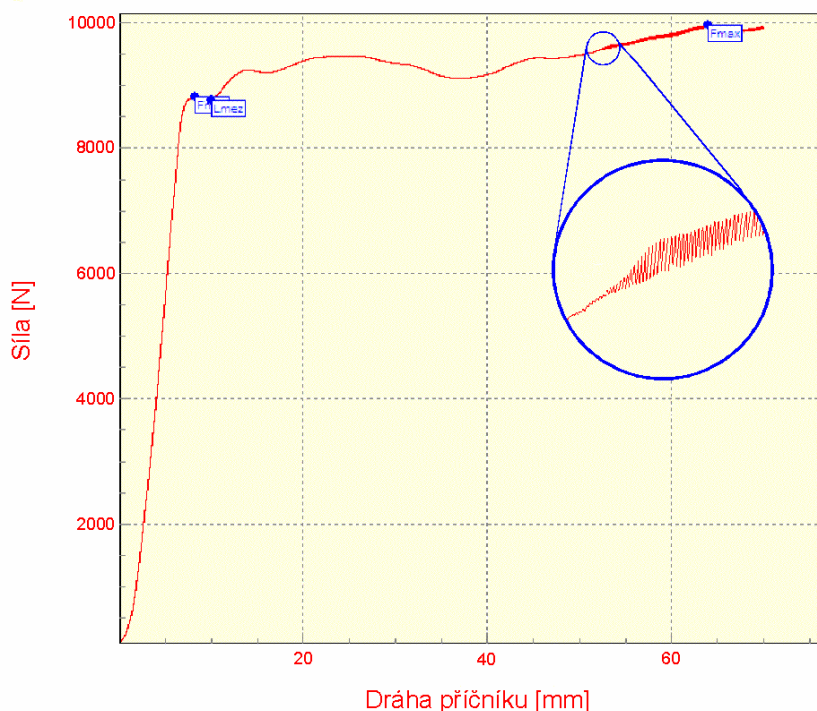
Teplota [°C]	Střední síla protahování [N]	Procentuální rozdíl [%]
20	10083,2 ± 85,9	28,61
60	9053 ± 71,4	15,47
100	8355,8 ± 144,9	6,58
140	7840,2 ± 145,5	0
180	8167,3 ± 92,6	4,17
220	8608 ± 388,3	9,79
260	9758 ± 152,9	24,46

Při teplotě 260°C u druhého zkušebního vzorku bylo zjištěno, že při tažení drátu průvlakem došlo k zadírání. Zadírání povrchu je nežádoucí jev, díky kterému došlo k poškození povrchu výrobku (obr. 4.1).



Obr. 4.1 - Zadírání povrchu

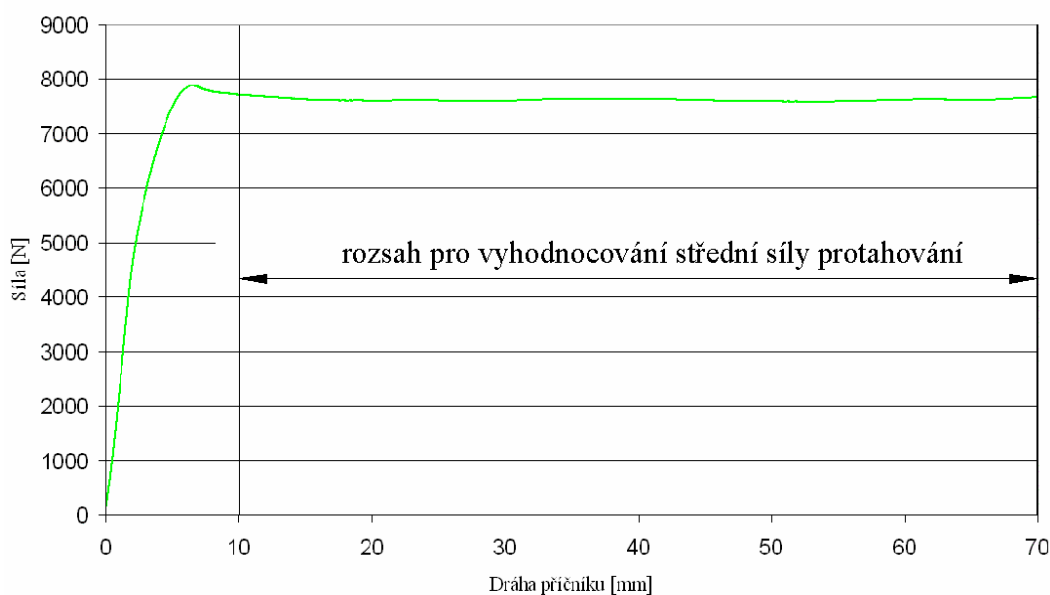
Zadírání se na výstupním záznamu průběhu síly projevilo „kmitáním“ aktuální hodnoty protahovací síly viz. obr. (obr. 4.2).



Obr. 4.2 - Zadírání při 260°C

Na následujícím grafu (obr. 4.3) je znázorněna špička, která vzniká při začátku protahování drátu průvlakem, než dojde k ustálení protahovací síly. Vytvoření špičky bylo způsobeno přechodem mezi upínací (obrobená) a fosfátovanou částí zkušebních vzorků.

Zkouška protahování drátu (140°C)



Obr. 4.3 - Průběh zkoušky při 140°C se špičkou a s rozsahem vyhodnocování

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit vliv teploty na velikost protahovací síly při tažení drátu průvlakem. Ověřeny byly základní mechanické vlastnosti použitého materiálu pomocí statické zkoušky tahem dle ČSN EN 10 002-1.

Pro zjištění při jaké teplotě je dosaženo nejnižší protahovací síly, byla využita zkouška protahování drátu průvlakem. Průběh zkoušky byl zaznamenáván uvedeným softwarem a byla odečítána střední protahovací síla F_s . Jako zkušební vzorek byla vybrána šroubárenská nízkouhlíková ocel 23MnB4, jejíž povrch byl upraven fosfátováním. Během experimentu bylo potřebné mazání zajištěno olejem KFP 10. Při měření byl použit jeden průvlak s vrcholovým úhlem tažného kužele 28° a rychlost protahování byla konstantních 20 mm/min. Bylo voleno sedm různých teplot po 40°C . Průběh celé zkoušky byl realizován na zkušebním laboratorním zařízení TIRATEST 2300. Jako měřicí software byl využíván program LABNET. Při měření bylo zjištěno, že do teploty nástroje 140°C velikost protahovací síly klesá. To je v souladu s literárními prameny [10], protože do této teploty se pevnost použité nízkouhlíkové oceli při tváření snižuje. Při teplotách nad 140°C se dále potvrdil vzrůst protahovací síly. Použité teploty se blíží oblasti tzv. modrého žáru a dochází k nárůstu přetvárného odporu materiálu. Na zvyšování protahovací síly má vliv také použité mazivo, které při těchto vysokých teplotách ztrácí svoje mazací schopnosti. (Velmi vysoký rozptyl hodnot při teplotě 220°C). Při teplotě 260°C dokonce docházelo k zadírání materiálu během tažení. Viz. kap. 3.2.5 a kap. 4.

Při laboratorním měření bylo zjištěno, že pro daný materiál a pro dané podmínky měření (použité mazivo, jeden použitý průvlak a jedna konstantní rychlost protahování) bylo nejlepších výsledků dosaženo při teplotě 140°C .

S ohledem na zaměření práce by bylo vhodné proměřit při stejných podmínkách také průvlak s jinými vrcholovými úhly, popř. i jiná maziva, která se používají při výrobě šroubů. Pro korektní posouzení jednotlivých vlivů (vliv teploty na přetvárný odpor materiálu a vliv teploty na mazací schopnosti maziva) by bylo nutné měření rozšířit o měření základních mechanických vlastností materiálu při použitých teplotách.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŽÍDEK, M.; DĚDEK, V.; SOMMER, B.: Tváření oceli. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988
- [2] LENFELD, P.: Technologie II. - 1. část (Tváření kovů). TU v Liberci, 2005
- [3] CHALOUPECKÝ, V. A kol.: Technologie II. TU v Liberci, 1979
- [4] KORECKÝ, J.: Tažený ocelový drát - jeho výroba a zpracování. Praha: SNTL, 1954
- [5] www.URDIAMANT.cz (duben 2009)
- [6] www.NIEHOFF.de (duben 2009)
- [7] BAREŠ, K. a kol.: Lisování. Praha: SNTL, 1971
- [8] www.MMSPEKTRUM.com (květen 2009)
- [9] HRUŠKA, Š.: Bakalářská práce - Vliv tvaru průvlaku na velikost tažné síly. TU v Liberci, 2007
- [10] TMĚJ, J.; MIKEŠ, V.: Teorie tváření. TU v Liberci, 1990

7. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Výstupní protokol ze statické zkoušky tahem

Příloha č. 2 - Výstupní protokoly ze zkoušky protahování drátu průvlakem

Příloha č. 3 - Technický list oleje KFP 10

PŘÍLOHA č. 1

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

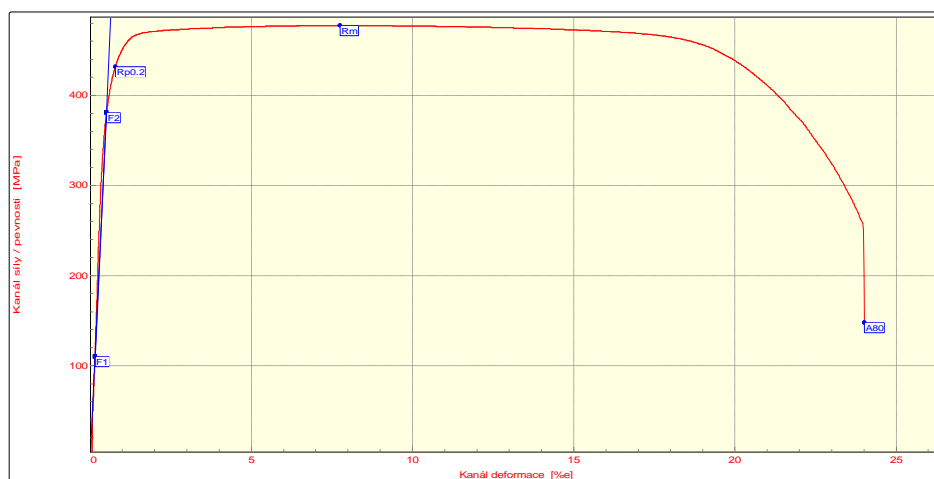
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Norma: : ČSN - EN 10002-1
Rozměr vzorku: : Průměr : 7,82 mm
Rychlost zatěžování: : 10 mm/min
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 20. 4. 2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _m N	A _{B0} %	R _{p0.2} MPa	R _m N/mm ²
1	23099.10	23.01	450.67	480.94
2	22950.50	24.49	454.44	477.85
3	22696.60	23.76	446.29	472.56
4	22911.20	23.82	427.38	477.03
5	22911.20	23.82	431.55	477.64

Statistická hodnota	F _m N	A _{B0} %	R _{p0.2} MPa	R _m N/mm ²
Počet zkoušek	5	5	5	5
Průměrná hodnota	22913.72	23.78	442.07	477.20
Směrodatná odchylka	143.94	0.53	11.95	3.01



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

PŘÍLOHA č. 2

Teplota nástroje: 20°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

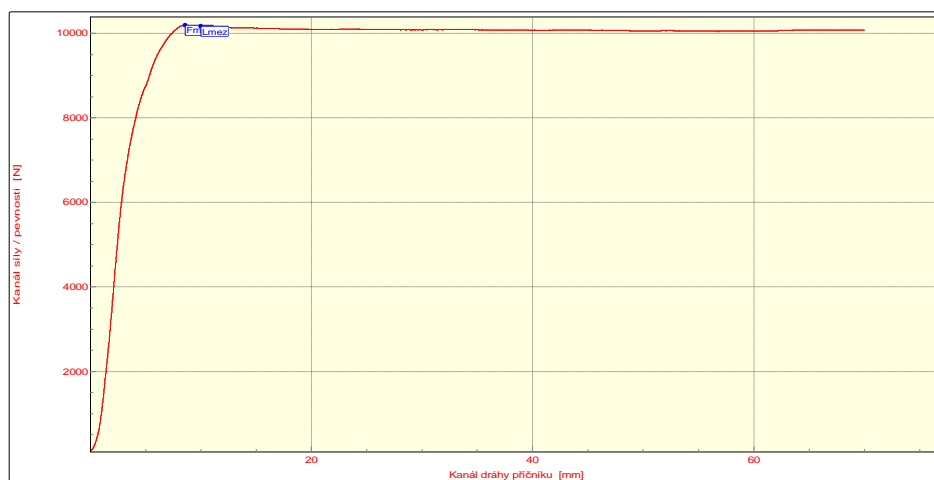
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : RT
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	10182,51	10174,20
2	10180,38	10173,50
3	10073,66	10188,40
4	10082,68	10084,70
5	9985,28	10243,00
6	9994,49	9996,70

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	10083,17	10143,42
Směrodatná odchylka	85,86	88,05



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Teplota nástroje: 60°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

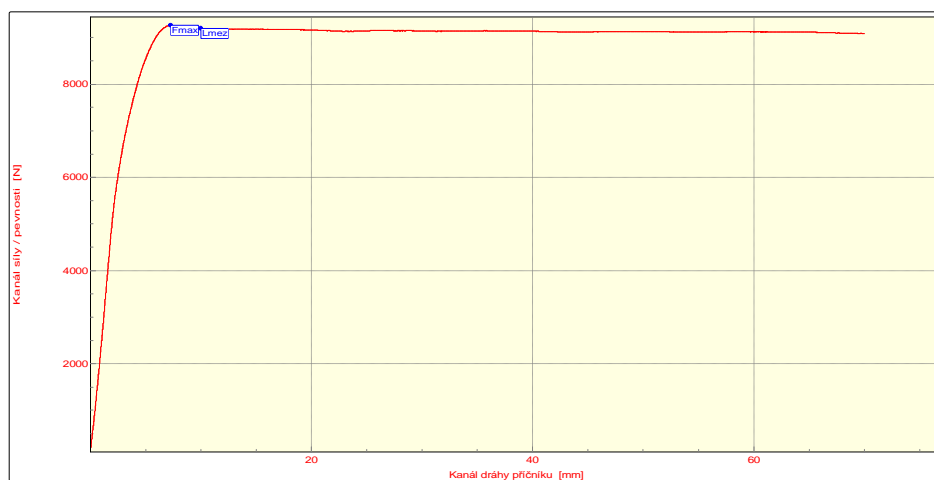
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : 60°C
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	9132.40	9262.50
2	9007.63	9088.30
3	9042.31	8989.00
4	8967.25	9031.10
5	9021.97	9088.30
6	9146.36	9262.50

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	9052.99	9120.28
Směrodatná odchylka	71.43	116.35



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Teplota nástroje: 100°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

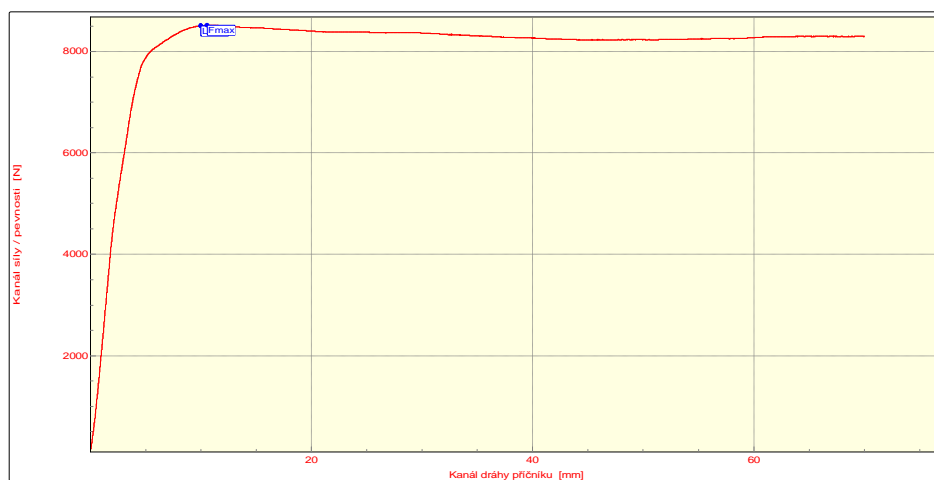
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : 100°C
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	8526.67	8680.50
2	8532.08	8518.70
3	8199.36	8321.20
4	8228.21	8233.60
5	8293.00	8504.70
6	8355.31	8309.90

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	8355.77	8428.10
Směrodatná odchylka	144.89	167.94



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Teplota nástroje: 140°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

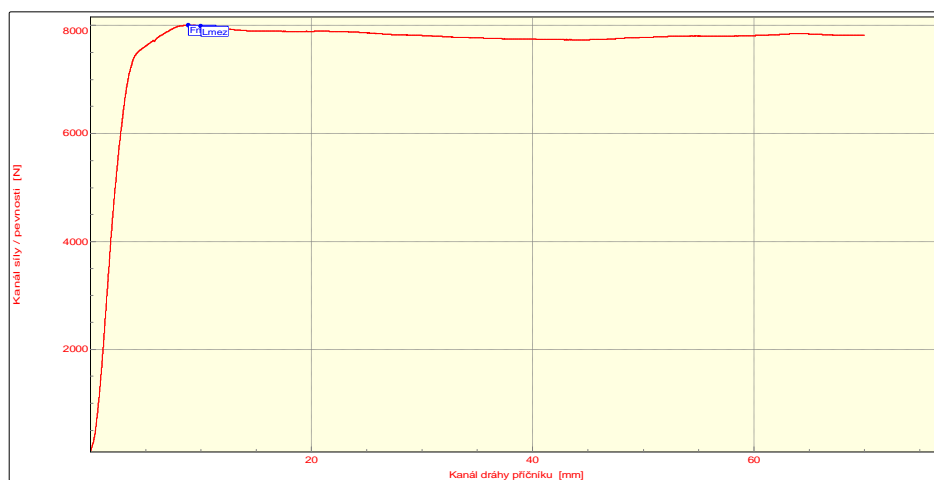
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : 140°C
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	7793.84	8003.40
2	7938.72	7850.20
3	7613.86	7882.50
4	7887.85	7718.30
5	7775.92	7942.20
6	8030.81	7907.10

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	7840.17	7883.95
Směrodatná odchylka	145.48	96.72



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Teplota nástroje: 180°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

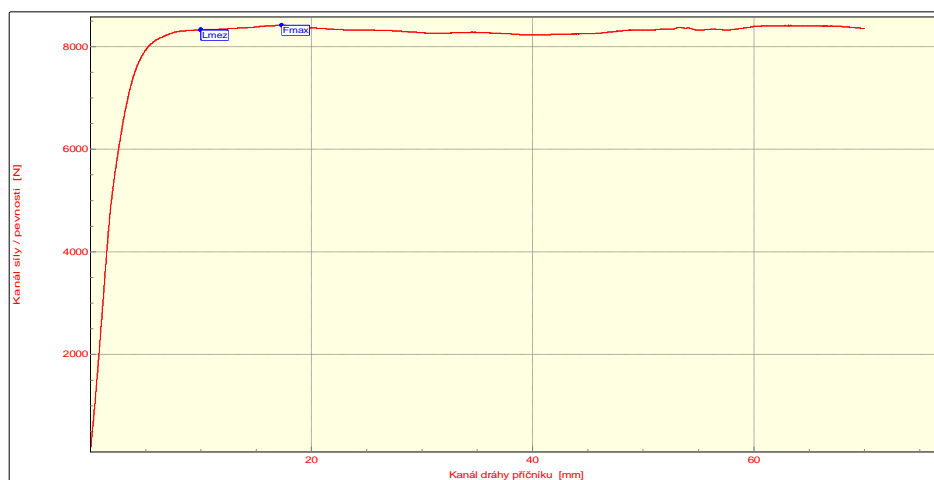
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : 180°C
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	8072.18	8173.10
2	8145.50	8522.40
3	8293.36	8323.10
4	8270.00	8717.50
5	8093.37	8173.10
6	8129.17	8522.40

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	8167.27	8405.27
Směrodatná odchylka	92.61	218.85



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Teplota nástroje: 220°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

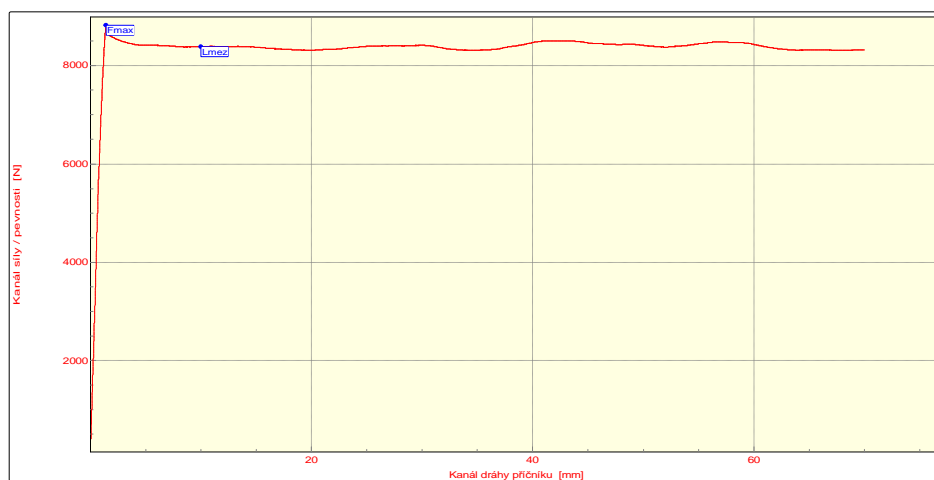
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : 220°C
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	8303.26	8107.90
2	8409.64	8822.50
3	9116.75	8800.60
4	9097.85	9581.80
5	8328.98	8107.90
6	8395.38	8822.50

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	8608.65	8707.20
Směrodatná odchylka	388.34	551.10



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Teplota nástroje: 260°C

ZKOUŠKA PROTAHOVÁNÍ DRÁTU

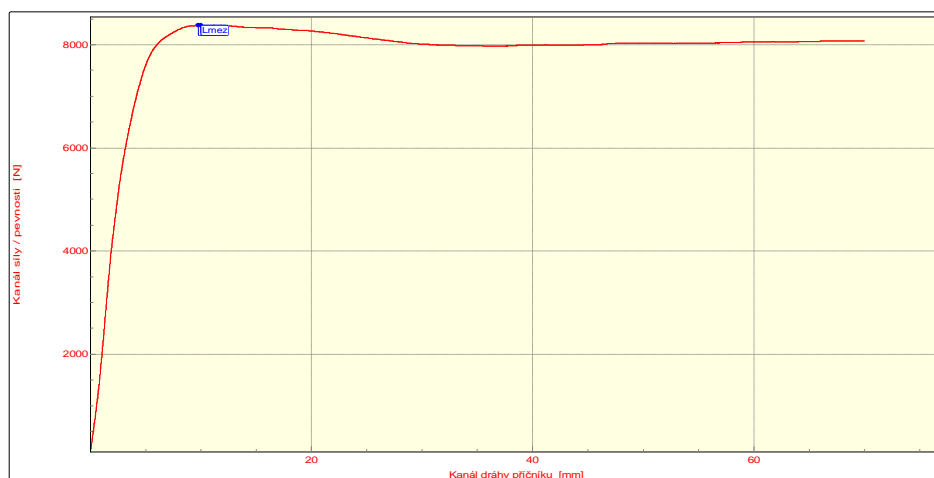
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : 23MnB4
Rozměr vzorku: : Průměr 7,80 mm
Rychlost zatěžování: : 20 mm/min
Podmínky měření: : 260°C
Vypracoval: : Jiří Žďárský
Datum zkoušky: : 16.3.2009

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	F _{sab} N	F _{max} N
1	8029.50	8374.30
2	8320.00	8971.90
3	9487.21	8812.90
4	11635.26	10677.30
5	11492.94	10677.30
6	9582.93	8812.90

Statistická hodnota	F _{sab} N	F _{max} N
Počet zkoušek	6	6
Průměrná hodnota	9757.97	9387.77
Směrodatná odchylka	1529.29	1018.51

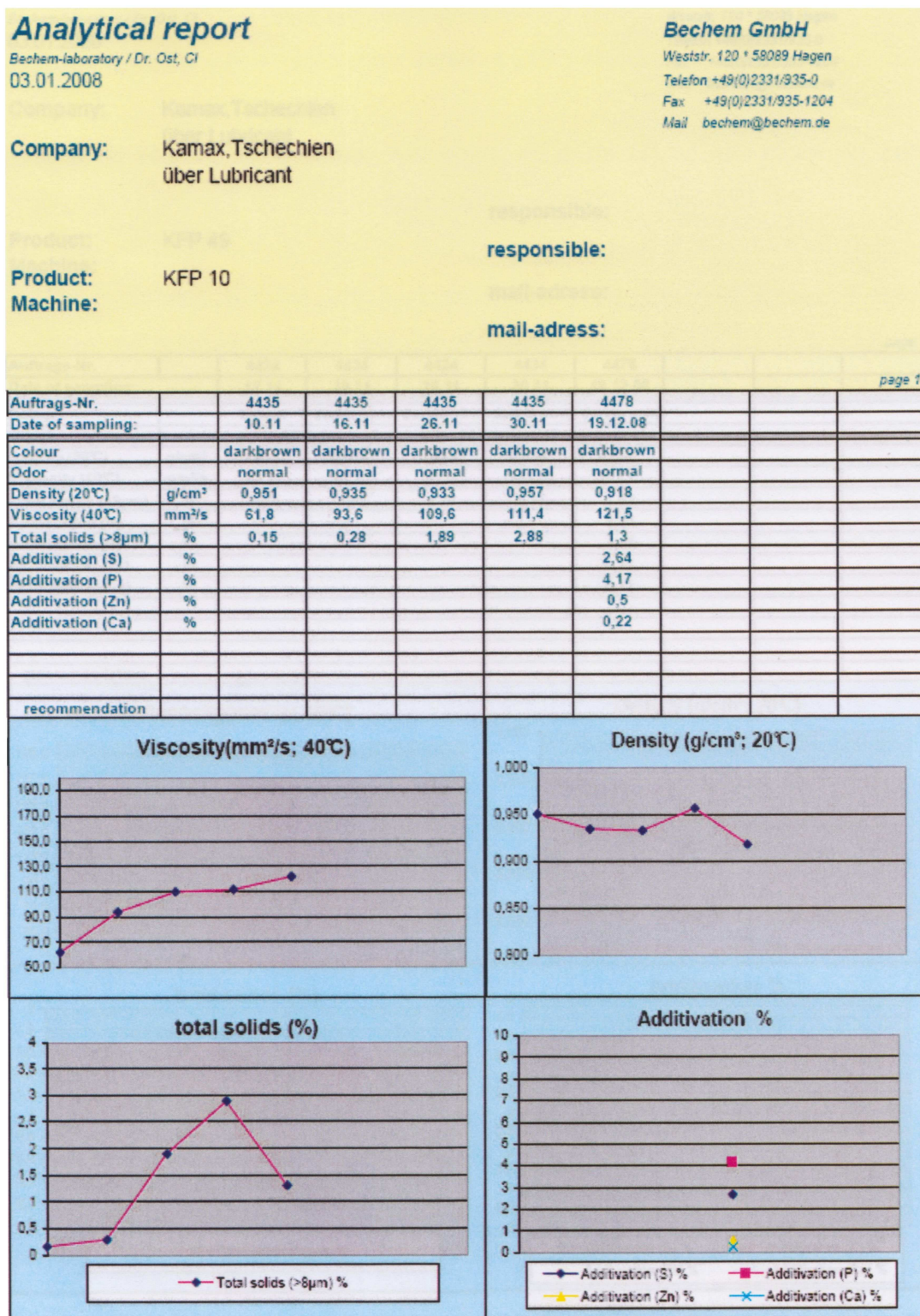


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

PŘÍLOHA č. 3



Prohlášení:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 5.6.2009

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5.6.2009

Signature: